

**MITEN BITCOININ ARVO MUODOSTUU? KATSAUS
ARTIKKELIIN: “BITCOIN PRICING, ADOPTION, AND
USAGE: THEORY AND EVIDENCE”**

Kandidaatintutkielma
Vili Holm
Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulu
Taloustiede
Kevät 2019

Sisällysluettelo

1 Johdanto	5
2 Bitcoin lohkoketjuissa	6
2.1 Lohkoketjut	6
2.2 Bitcoin	7
3 Teoreettinen mallinnus bitcoinin hinnalle artikkelista	9
3.1 Mallin rajaukset	9
3.2 Teknologia, uskomukset	10
3.3 Käyttäjien lisäys malliin	11
3.4 Tasapaino ja käyttöönoton dynamiikka	12
3.5 Mallin laajennus sijoittajilla	14
3.6 Mallin teoreettiset tulokset	15
4 Bitcoinin vaihtokurssin aggregaattianalyysi	17
4.1 Hinnoittelumalli	17
4.2 Hinnoittelumallin testaus empiirisesti	18
5 Mikroanalyysiä bitcoinin julkisesta tietokannasta	20
5.1 Kokonaisuuksien havaitseminen ja analyysi	20
5.2 Adoptio ja käyttö empiirisesti havaittuna	20
5.3 Taloudellinen suoja ja laiton toiminta	21
5.4 Transaktioverkosto ja alueellinen luokitus	22
5.5 Alueelliset erot käyttäytymisessä ja alueiden väliset transaktiot	22
6 Yhteenveto ja päätelmät	24

Tekijä Vili Holm**Työn nimi** Miten bitcoinin arvo muodostuu? Katsaus artikkeliin: “Bitcoin pricing, adoption, and usage: theory and evidence”**Tutkinto** Kauppatieteiden kandidaatti**Koulutusohjelma** Taloustiede**Työn ohjaaja(t)** Pauli Murto, Mikko Mustonen**Hyväksymisvuosi** 2019**Sivumäärä** 23+2**Kieli** Suomi

Tiivistelmä

Kirjallisuuskatsaukseni päämääränä on tarkastella bitcoinin arvonmuodostusta syventyen valitsemaani tutkimukseen. Bitcoin on hajautettu tietokanta, avoimeen lähdekoodiin perustuva kryptovaluutta, joka tarjoaa vaihtoehdon keskitetysti tapahtuviin transaktioihin. Kryptovaluutan luonne on täysin uudenlainen, joten sen arvon ymmärtämiseksi tarvitaan myös uutta näkökulmaa arvonmäärittelyyn. Esittelen kandidaatintyöni alussa yksinkertaisen selostuksen siitä, mitä lohkoketjut ja bitcoin ovat ja miten ne toimivat. Sen jälkeen otan pääartikkelini tarkasteluun ja siinä esitellyn mallin bitcoinin adoptiolle ja käytölle. Tutkimus johtaa mallista päätelmät hinnan muodostumiselle analysoimalla adoption eli käyttöönoton dynamiikkaa valuuttakurssin heilahtelun epävarmuuden vallitessa. Sen jälkeen artikkeli siirtyy empiiriseen osioon, jossa analysoidaan päätelmiä oikean datan pohjalta. Artikkelissa luodun mallin mukaan bitcoinin hinta voidaan määrittää markkinavoimien kontribuutiona ja tutkimuksen aggregaattianalyysi empirialla tukee tätä väitettä.

Avainsanat Bitcoin, Lohkoketjut, Hinta, Arvo

Terminologiaa:

Lohko (Block): Transaktioiden aikaleimattu ryhmittymä sisältäen tunnisteen edellisestä lohkosta. Lohko tunnistetaan käyttäen POW -menetelmää, mikä varmentaa transaktion. Varmennetut transaktiot lisätään lohkoihin.

Lohkoketju (Blockchain): Varmennettujen lohkojen lista, joka jatkuu aina ensimmäiseen alkuperäiseen lohkoon. (tekninen selitys) / Avoimeen lähdekoodiin perustuva tietokanta, joka toimii monivaiheisella rinnakkaisvalvonnalla. (yleinen selitys)

Lompakko (Wallet): Ohjelmisto, joka sisältää kaikki henkilökohtaiset bitcoin -yksiköt ja salausavaimet. Käytetään bitcoinien varastointiin, lähettämiseen ja vastaanottamiseen.

Louhinta (Mining): Vertaisverkossa tapahtuva prosessi, jolla varmennetaan ja tallennetaan bitcoinien transaktioita. Tapahtuu käyttämällä tietokoneen laskentakapasiteettia.

POW (Proof-of-work): Algoritmipohjainen peliteoriaan pohjautuva työtodistus, joka suojaaa systeemin käyttäjiä haitalliselta toiminnalta. Bitcoinin tapauksessa data, jonka löytäminen vaatii huomattavaa laskentatehoa.

1 Johdanto:

Bitcoin on viime vuosina aikana herättänyt suuren yleisön kiinnostuksen. Se on hajautettu tietokanta, avoimeen lähdekoodiin perustuva kryptovaluutta, joka tarjoaa vaihtoehdon keskitetysti tapahtuviin transaktioihin. Tälle kryptovaluutalle ja sen pohjalla olevalle teknologialle on luvattu suuria niin maailmanlaajuisesta rahoitusjärjestelmän mullistajasta vaihtoehtoisen maksuvälineen mahdollistajaan. Bitcoin ja lohkoketjut ovat olleet ”supertrendinä” jo useamman vuoden ja siksi julkaisut aiheesta ovat räjähtäneet kasvuun. Tämä kasvu on lisännyt kaikenlaisten julkaisujen määrää aiheesta niin tieteen kuin median kentässä. (Craggs ym. 2018) Suosio on muun muassa näkynyt suurina valuutan heilahteluina, kun miljoonien dollareiden edestä valuutaa on siirrelty. (Blockchain.info)

Jotta voisi ymmärtää Bitcoinin arvon muodostumista on ymmärrettävä Bitcoinin toimintaperiaatteita pääpiirteittäin, mitä tämä uusi teknologia on ja kuinka se toimii. Esittelenkin kandidaatintyöni ensimmäisessä osassa yksinkertaisen selostuksen siitä, mitä lohkoketjut ovat ja miten ne toimivat. En käsittele lohkoketjujen teknologiaa kuitenkaan kovin syvällisesti. Laajennan tämän jälkeen työtä kryptovaluutta bitcoinin suuntaan, mikä bitcoin on ja mitkä ovat bitcoinin toimintaedellytykset. Työni kolmannesta kappaleesta eteenpäin otan tarkasteluun artikkelin ”Bitcoin Pricing, Adoption, and Usage: Theory and Evidence” ja siinä esitellyn mallin bitcoinin adoptiolle ja käytölle. Käsitelen kolmannessa kappaleessa artikkelia ja siinä esiteltyä mallinnusta mahdollisimman laajasti. Esittelen tutkimuksessa esiintyneet mallit ja päätelmät. Neljäs kappale käsittelee bitcoinin aggregaattianalyysiä, jossa mallin avulla esitän tutkimuksen sovellutusta empiriaan. Viides kappale tutkii mikroanalyysiä bitcoinin julkisesta tietokannasta. Kuudennessa kappaleessa esitän yhteenvetoa ja päätelmät artikkelin tulosten pohjalta.

Malli johtaa päätelmät hinnan muodostumiselle analysoimalla adoption eli käyttöönoton dynamiikkaa valuuttakurssin heilahtelun epävarmuuden vallitessa. Mallin tuloksena on, että bitcoinin arvoa voidaan määrittää suhteessa Fiat-valuuttoihin markkinavoimien perusteella. Empiiriset tulokset näyttävät tukevan mallin löydöstä.

2 Bitcoin Lohkoketjuissa

2.1 Lohkoketjut

Tekniikka lohkoketjujen takana on vanhaa perua. Sen peruskomponentit on tunnettu jo 80-luvulta saakka tietotekniikan alalla. Ensimmäisen kerran tätä tekniikkaa kuitenkin innovoitiin tavalla, joka loi nykyisen ymmärryksen käsitteestä lohkoketjut vuonna 2008. Kyseisenä vuonna mystinen paperi ilmaantui internetiin kaikessa hiljaisuudessa. Tämä paperi, jonka julkaisi pseudonyymi Nakamoto, sisälsi selostuksen uudesta kryptovaluutasta, bitcoinista, joka käytti lohkoketjuihin perustuvaa tekniikkaa. (Nakamoto, 2008). Itse artikkelissa ei edes käytetty lohkoketju-sanaa, mutta se perustui ”lohkoihin”, jotka olivat ”ketjuilla” toisissaan kiinni.

Vaikka terminologia lohkoketjujen ympärillä on parhaimmillaankin epäselvää, teknologian ydinkäsite on itseasiassa sangen yksinkertainen. Mattilan (2016) mukaan lohkoketjujen teknologia on tiivistettynä metodi, jonka kautta ennalta tuntemattomat osapuolet voivat yhdessä luoda ja ylläpitää lähes mitä tahansa tietokantaa täysin jaettuna. Laajasti käsitettynä se ei ole mitään muuta kuin tietokanta, joka toimii jaetulla monivaiheisella rinnakkaisvalvonnalla. (Mattila, 2016). Atheyn ym. (2016) mukaan tekstin mukaan lohkoketjut ovat keskittämättömiä protokollia, joita käytetään transaktioiden tallentamiseen ja varallisuuserien omistamiseen.

Rinnakkaisvalvonnan soveltaminen on yksi tärkeimpiä syitä lohkoketjuista sovellettujen applikaatioiden aiheuttamaan suosioon. Tämä tarkoittaa sitä, ettei kyseisen teknologian pohjalle tehdyissä sovelluksissa tarvitse olla erityistä päättävää, hallitsevaa tai kontrolloivaa elintä. Kolmas ja hallitseva elin voidaan hakkeroida tai sen käyttö voi johtaa manipulaatioon tai yksityisyyden vaarantumiseen. (Patel ym. 2017) Tällöin lohkoketjujen anonymiteetti, jaetut sopimukset ja suojaus tulevat tärkeiksi ominaisuuksiksi.

Lohkoketjut voi jakaa avoimiin ja suljettuihin. Suljetut lohkoketjut eivät ole avoimia kaikille. Jos suljetuissa lohkoketjuissa jäsenet tunnetaan ja heihin voidaan luottaa, ei

tarvita keinotekoisia kannustimia turvataksaan käyttäjien rehellisyys ja hyvä yhteistyö. Olen käyttänyt avoimien lohkoketjujen mallia edellä kertoessani lohkoketjuteknologiasta. Niihin liittymiseen ei tarvitse ylimääräisen auktoriteetin lupaa. Yhteisön jäsenet ovat tuntemattomia toisilleen ja luottamus muodostuu tällöin peliteoreettisista insentiiveistä. (Mattila, 2016)

2.2 Bitcoin

Bitcoinia voidaan kuvailla protokollaksi, valuutaksi, maksujärjestelmäksi ja teknologiseksi alustaksi. (Athey ym. 2016) Työssäni, kuten pääartikkelini tutkimuksessa käsittelen bitcoinia arvon säilyttäjänä ja maksujärjestelmänä ja keskityn näiden tekijöiden valossa tämän kryptovaluutan analyysiin.

Bitcoin on avoimen lähdekoodin ohjelmisto. Sovellukset siihen ja sen ympärillä ovat tehty riippumattomien yritysten ja ohjelmistokehittäjien toimesta. Tämä lohkoketjuteknologia mahdollistaa tapahtumien julkisen kirjanpidon ohjelmistoinen ja protokollinen, jotka ylläpitävät alustan turvallisuutta. Tämä mahdollistaa transaktiot lähettäjältä suoraan vastaanottajalle ilman kolmansia osapuolia.

Bitcoinin toimii lohkoketjuteknologiaan perustuvalla POW (Proof-of work) -protokollalla. Tässä louhimisprosessissa yritetään varmentaa uutta lohkoa ratkaisemalla tietokoneiden laskentatehon ja kysynnän lisääntyessä jatkuvasti vaikeutuvia tehtäviä. Louhijat valitaan satunnaisotannalla. Satunnaisuus mahdollistaa hajautetun varmennusprosessin, jossa yhdelle louhijalle ei kasaudu valtaa koko prosessista. (Biais ym. 2018) 10 minuutin välein uusi valittu louhija louhii uuden lohkon ja asettaa sen lohkoketjujen päähän, jolloin kaikki muut louhijat varmentavat uuden laillisen lohkon. (Huberman ym. 2017)

Bitcoin on täysin virtuaalinen valuutta, eli fyysistä rahaa, kolikoita tai seteleitä ei ole. Taholla, joka omistaa bitcoinia on täysi hallinta varojensa käytöstä, eikä tiliä ole liitetty mihinkään muuhun. Tämä eroaa normaaleista pankkitalletuksista, joita pankki voi käyttää kysynnän mukaan. Bitcoin -tiliä ei voi myöskään tarkastella tai manipuloida digitaalisesti muiden tahojen toimesta. (Athey ym. 2016) Omistajan bitcoin –tilillä olevia varoja säilytetään lompakossa, jonne käyttäjällä on pääsy salasanalla. Muuten

varmasti suojattu bitcoinin käyttö on haavoittuvainen juuri lompakon suojausvaiheessa.

Bitcoinin tapauksessa louhiminen järjestää katon tälle inflaatiota aiheuttavalle toiminnalle. Louhimisella lisääntyvä Bitcoinien määrä on rajoitettu 21 miljoonaan, joka on arvioitu saavutettavaksi 150 vuoden kuluttua. (Antonopoulos, 2014)

Monia tutkimuksia bitcoinin arvonmääritykseen on tehty eri tavoin lähestyen kysymystä, lähinnä transaktioiden volatiliteetin ja hinnan ennustettavuuden kautta, kuten esimerkiksi Kristoufek (2015), Ciaian ym. (2015) tutkivat. Pääartikkelini kuitenkin vakuutti perinpohjaisuudellaan ja asiantuntemuksellaan aiheesta, joten päätin keskittyä analysoimaan yksin sen kontribuutiota aiheesta.

3 Teoreettinen mallinnus bitcoinin hinnalle artikkelista “Bitcoin Pricing, Adoption, and Usage: Theory and Evidence”

Malli on artikkelista “Bitcoin Pricing, Adoption, and Usage: Theory and Evidence”. Sen tekijöinä ovat Susan Athey, Ivo Parashkevov, Vishnu Sarukkai ja Jing Xia. Malli käsittelee bitcoinin käyttöönottoa populaatiossa ja tästä analyysistä saadaan lisänä mallinnettua bitcoinille hinta. Malli näyttää, miten bitcoinin vaihtokurssi Fiat-valuuttoihin pohjautuu markkinavoimien vaikutukseen ja miten se kasvaa käytön kasvun myötä.

Ideana on mallintaa bitcoinin käyttöä, kun sitä käytetään rajojen yli tapahtuviin maksusuorituksiin. Tämä mallinnus pitää sisällään monia samanlaisia asioita, kuin jos bitcoinia käytettäisiin tavallisin maksuihin. Erona mainitaan mahdollisten hyötyjen jakautuminen ostajan ja myyjän välillä.

Aluksi kerron kuinka mallin pohjana toimivat yleisön uskomukset bitcoinin selviämisestä tulevaisuudessa ja se, että bitcoinin teknologia toimii. Sen jälkeen otan malliin käyttäjät mukaan ja hahmottelen mallin tasapainotilaa. Laajennan mallia lopuksi myös sijoittajilla.

3.1 Mallin rajaukset

Mallista on jouduttu jättämään pois monia tärkeitä muuttujia. Heterogeeniset uskomukset kuin myös hintakuplien muodostus on jätetty huomioimatta. Potentiaalisten käyttäjien määrää on rajoitettu tiettyyn määrään asti kasvavaksi. Käyttäjiltä on huomioitu heidän uskomuksensa tulevaan. Heidän erilaisia verkostovaikutuksiansa ei ole huomioitu. Malli ei myöskään huomioi empiirisesti havaittua tulosta, että hinnan hajonta voi alentua merkittävästi, kun käyttäjien määrä lisääntyy. Myöskin eksogeenisiä vaikutuksia on jätetty huomioimatta esimerkiksi kilpailevan teknologian kuten toisen kryptovaluutan suosion kasvun tuomat vaikutukset tai vaihtoehtoisesti pankkien toimet.

3.2 Teknologia, uskomukset

Mallissa lähdetään liikkeelle määrittämällä yleisön uskomukset bitcoinin suhteen ja bitcoinin teknologian selviäminen tulevaisuudessa. Yleisön uskomuksia bitcoinin tulevaisuuteen kuvataan mallissa yksinkertaistaen ne siihen, selviääkö bitcoinin teknologia. Näin yhdistetään yleisön uskomukset ja teknologian arvo ja luotettavuus yhteen muuttujaan.

S -muuttuja saa arvot 0 tai 1. S -muuttujan 0 tarkoittaa, että bitcoinin teknologia ei toimi ja 1, että se osoittautuu toimivaksi teknologiaksi. Tästä johdetaan todennäköisyys $q_t = P(S=1)$, joka määritellään yleiseksi uskemukseksi, että bitcoin on hyvä teknologia ajanhetkellä t . Bitcoin voi hajota mikä aikaperiodi tahansa, jos tällöin S on ollut 0. Se että bitcoinin teknologia ei selviä eli hajoaa, merkitään todennäköisyydellä λ . Kaava $\kappa_t \equiv q_t \cdot 1 + (1 - q_t)(1 - \lambda)$ kertoo todennäköisyyden, κ_t , miten bitcoin selviää tulevaisuudessa aikana $t+1$.

$$\begin{aligned} q_t &= \frac{q_{t-1}}{q_{t-1} + (1 - \lambda)(1 - q_{t-1})} \\ &= \frac{q_0}{q_0 + (1 - \lambda)^t(1 - q_0)}. \end{aligned}$$

Nyt kaavassa q_t :hen on sisällytetty, että teknologia bitcoinin kohdalla on toiminut aikaisemmin ehdolla $t-1$ ja toimii nyt hetkellä t . Tämä on saatu käyttämällä Bayesin kaavaa apuna. q_0 tarkoittaa tunnettuja aikaisempia selviämisistä. Nyt todennäköisyys q_t lähestyy yhtä, kun aikaa t kuluu enemmän ilman teknologian hajoamista.

Tässä on siis käyttäjien uskomukset ja teknologian selviäminen saatu ajallisesti yhteen yhtälöön. Tämä Bayesin kaavan mukainen todennäköisyys lähestyy yhtä, eli sataa prosenttia. Tällöin yleisön uskomukset lähestyvät täyttä varmuutta siitä, että teknologia on hyvä, kun monta vuotta se on osoittautunut jo toimivaksi teknologiaksi.

3.3 Käyttäjien lisäys malliin

Bitcoinin käyttäjiä $i = 1, \dots, n$ on rajattu määrä. Nämä käyttäjät haluavat lähettää rahaa perheillensä summan x . Käyttäjien kustannus c tulee aikakustannuksista bitcoinin käytöstä, siitä että juuri bitcoin valitaan maksusuorituksen mahdollistajaksi. E kuvaa odotuksia satunnaismuuttujien suhteen käyttäjän i uskomuksista ajanjakson t alussa. Muuttuja v on kasvava ja lievästi konkaavi. Se kuvastaa käyttäjän riskiaversiivisuutta bitcoinin käytössä hidastaen aluksi mahdollista adoptiota ja kiihtyen aversiivisuuden väistyessä. Muuttujaa e käytetään kuvaamaan vaihtokurssia ehdolla, että bitcoin on toimiva teknologia. e_{t+1} kuvaa siis satunnaismuuttujana vaihtokurssia, kun onnistunut maksusuoritus on perheessä vastaanotettu ja jotka vaihtavat bitcoinit dollareiksi. K_t , eli todennäköisyys bitcoinin selviämisestä ajallisesti aikaan $t+1$, saa teknologian ja uskomukset yhdistettyä käyttäjien toiminnan kanssa samaan malliin. B on bitcoinin tarjonta, joka on staattinen ja muuttuu ennakoitavasti.

$$u(B; x_{it}, e, \kappa_t, c_i) = \kappa_t \cdot \mathbb{E}_{it} v \left(\frac{\tilde{e}_{t+1}}{e} x_{it} \right) - c_i.$$

Käyttäjä i tekee päätöksen tarpeensa x perusteella ja valitsee bitcoinin tai pankin rahanlähetyksmuodokseen. Ylläolevassa kaavassa siis kuvataan lähettäjän hyötyä funktiona, kun bitcoin on valittu lähetyksmuodoksi.

Tässä yhtälössä $\mathbb{E} v \left(\frac{\tilde{Z}}{\bar{N}} \right) - \bar{e} > v(1-f) > 0$. on otettu tarkasteluun myös pankin tarjoama vastaava lähetys käyttömaksulla f , ja yllä selitetty bitcoinin hyötyfunktio pelkistettynä samaan epäyhtälöön. Z on satunnaismuuttuja, joka on jakautunut binomijakauman $Bi(N, p)$ mukaisesti. Yhtälöstä nähdään, että ajan kuluessa suurella t :llä, yhtälö pelkistyy. Epäyhtälö kuvaa bitcoinin valintaa rahan lähetykseen yli pankin vaihtoehdon. Bitcoin valitaan, kun sen käytöstä koituva hyöty on suurempi kuin pankin vastaava.

3.4 Tasapaino ja käyttöönoton dynamiikka

Seuraavaksi siirrymme mallille luotuun tasapainoon. Mallin kanssa on täytynyt tehdä joitain pelkistäviä oletuksia kuten: aggregoitu kysyntä bitcoinille liikkuu asteittain eli diskreetisti (step function). Markkinoilla kysynnän ja tarjonnan tasapainon epätasapainosta mahdollistava kauppa (market clearing) on yksinkertaistettu toimijan harteille, joka ostaa liikatarjontaa ja myy sitä markkinahintaan. Myös tilanteessa, jossa bitcoinille ei löydy kysyntää, toimija ostaa halvalla hinnalla valuuttaa.

$$Q_t(e; x_t) = \sum_i x_{it} 1\{a_{it} = B\} = \sum_i x_{it} 1\{u(B; x_{it}, e, \kappa_t, c_i) \geq u(D; x_{it}, e, \kappa_t, c_i)\}.$$

Yllä on aggregoitu dollarin kysyntäkäyrä bitcoineille. Edellä olen käynyt läpi muuttujat mallillemme tähän asti lukuun ottamatta muuttujaa a , joka on päätös käyttääkö bitcoinia vai pankkia transaktioon. Tässä bitcoinin staattinen tarjonta on annettuna muuttujana B . Epäyhtälön vasemmalla puolella on yllä kuvailemani kaava jokaiselle vaihtosummalle x . Oikealle puolelle jää vaihtoehtoinen hyöty pankkijärjestelmän käytöstä. Kun aggregoitu hyöty bitcoinin käytöstä on pankinkäyttöä suurempi, epäyhtälö pätee ja bitcoinia käytetään.

Dynaamiseen tasapainohintaan päästään kun jokaiseen aikaperiodiin t spesifioidaan jokaisen toimitsijan strategia σ , uskomus μ sekä vaihtokurssi e . Näiden kolmen asian avulla saadaan toimijoiden optimaaliset strategiat σ , tasapainon mahdollistava kauppa vaihtokurssilla e ja rationaaliset uskomukset μ , tasapainoon.

Seuraavan ensimmäiseen teoreeman pohjalta voimme todistaa ylläolevat väittämät ja löydökset tähän asti. Artikkelin käyttää induktiota teoreeman osoitukseen. Teoreema koostuu kolmesta osasta. Tässä on tiivistelmät näistä kolmesta teoreemasta:

i) Uniikki dynaaminen tasapainohinta löytyy.

Tällöin tasapainon vaihtokurssi on $e^*(x_t)$ strategialla σ^* . Toimitsijan strategia σ^* määrittää tällöin tasapainon.

ii) $C_t^*(x_t)$ on korkein kiinteä kulu, jolla valitaan bitcoin maksuvälineeksi.

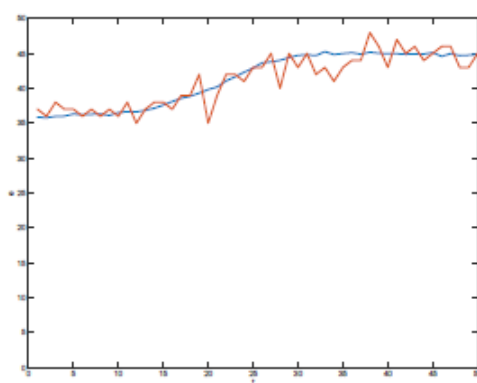
$Ct^*(xt)$ on nyt lievästi kasvava ajassa.

iii) **On olemassa aika t^c , jonka jälkeen kaikki bitcoinin potentiaaliset käyttäjät valitsevat bitcoinin käytettäväksi maksusuorituksiin.**

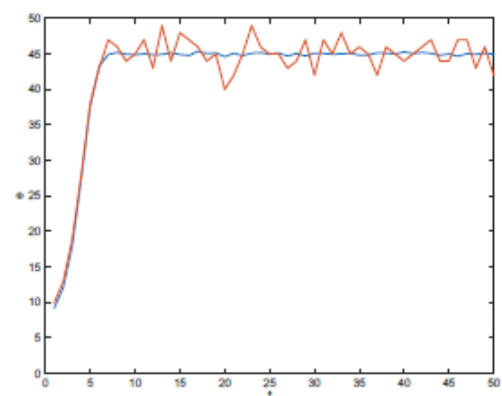
Tällöin löytyy t' , joka on aina $t' \geq t^c$. Silloin kaikki toimijat käyttävät bitcoinia maksusuorituksiin, kun $\sigma^*(1, et^*(xt)) = B$ jokaisella x . Eli kun tasapaino löytyy individuaalisesta strategisesta aikana t , jossa hinta vastaa tarjontaa.

Ensimmäinen teoreema osoittaa, että bitcoinin käyttöönotto kasvaa ajan myötä kohti täyttä käyttöönottoa potentiaalisten käyttäjien joukossa. Käyttöönotto riippuu muun muassa huonon tilan $S=0$ todennäköisyydestä, odotuksista ajanhetkenä $t-1$ huonosta tilasta, toimijoiden riskinkarttamisesta ja toimijoiden lukumäärästä.

Riski toimii mallissa adoptiota hillitsevänä tekijänä. Tämä näkyy erityisesti alla olevassa kuviossa, joissa määräävänä tekijänä on λ eli bitcoinin hajoamisen todennäköisyys. Alla olevista kuvaajista nähdään, että korkeampi λ johtaa alussa heikompaan käyttöönottoon, mutta ajan myötä nopeammin kasvavaan oppimiseen.



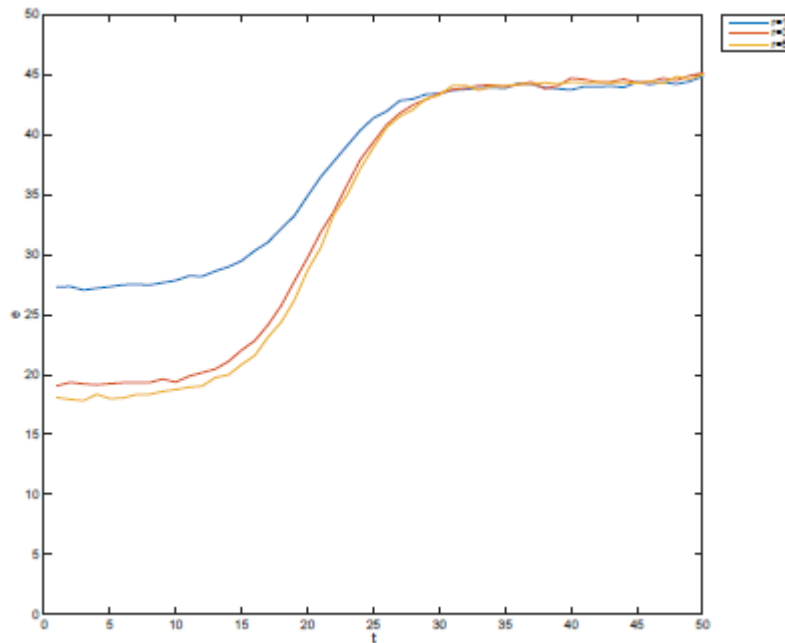
(a) $\lambda = .2$



(b) $\lambda = .7$

Kuva 1: Bitcoinin käyttöönotto. Lähde: (Athey ym. 2016)

Alla näemme eri polkuja eri riskinkaihtamistasoilla. Punainen ja keltainen viiva ovat riskinkaihtajan polut. Sininen polku näyttää normaalin riskitason toiminnan. Kuviosta näkee, että riskiaversiivisuus hidastaa adoptiota, joka kasvaa rajusti välillä $t[15,25]$.



Kuva 2: Riskiaversiivisuus ja adoptio. Lähde: (Athey ym. 2016)

3.5 Mallin laajennus sijoittajilla

Malliin on sisällytetty sijoittajat potentiaalisten käyttäjien riskinkaihtamisen ja käytön aikakulujen huomioinnin dynamiikan seurauksena. Bitcoinin vaihtokurssi kasvaa näiden seurauksena suhteellisesti hitaammin kuin yleisön luottamus ja luo näin hyödynnettävän sijoituskohteen. Kyseinen prosessi voidaan nähdä kuvasta 2. Tämä jatkuu, kunnes markkina tulee kypsäksi. Sijoittajien toiminta tapahtuu ehdolla, että tarjonta ei muutu sijoittajan toimista, koska bitcoinin tarjonta on eksogeeninen ja staattinen.

Sijoittaja tässä laajennuksessa on määritelty attribuutein; riskineutraali, rajoittamattoman likviditeetin omaava, rationaaliset odotukset omaava, voittoa maksimoiva ja kärsivällinen. Sijoittajalla tarkoitetaan tässä yksinkertaistusta lukuisista keinottelijoista.

Seuraava kaava on luotu korvaamaan aiempaa kaavaa tasapainohinnasta. Nyt siihen on lisätty sijoittajien toiminta:

$$Q_t(e_t; x_t) = (\bar{B} - y_t) \cdot e_t.$$

Nyt y_t on keinottelijoiden tarjoamat bitcoinit markkinoille, jotka tulevat hinnalla e_t markkinoilla. $\hat{e}(e_t; x_t)$ määrittää hinnaksi, joka on tyydyttävä markkinahinta ensimmäisen teoreeman valossa näillä oletuksilla.

Sijoittajien mukaantulo malliin tulee muuttamaan joitain uskomuksia. Näitä ovat tärkeänä esimerkkinä se, että yleisön uskomuksiin bitcoinin arvosta varmasti vaikuttaa sijoittajien mukaantulo.

Toinen teoreema todistaa yllä esitetyn tasapainohinnan sijoittajien mukaan tullessa. Tässä on tiivistelmä toisesta teoreemasta:

i) Sijoittajien mukaan tullessa löytyy tasapainohinta

Sijoittajien saapuessa myymään bitcoinia lyhyeksi, dynaaminen tasapainohinta kun aikana $t \geq t^c$ niin $y_t=0$ ja jakauma \hat{e}_{t+1} on yhtäläinen Z/B. Kun jokaisella periodilla $t < t^c$, niin:

$$\mathbb{E}_{\bar{e}_t, \bar{e}_{t+1}} \left[\kappa_t \cdot \frac{\bar{e}_{t+1}}{\bar{e}_t} \right] \leq 1.$$

3.6 Mallin teoreettiset tulokset

Mallit luovat monia tuloksia, joilla pystytään määrittämään bitcoinin hintaa.

Seuraavaksi käyn läpi luettelemalla mallien tärkeitä tuloksia. Suurta osaa tuloksista on jo käyty työssä läpi, mutta kaikkien löydettyjen tulosten esittäminen listaamalla selkeyttää ymmärtämistä.

- 1) Markkinavoimat siis määrittävät bitcoinin tasapainohinnan, sijoittajien puuttuessa, kun markkina kypsyy.
- 2) Vakaan tilan tasapainohinta on yhtäläinen suhteessa odotettuun transaktioiden määrään ja bitcoinien tarjontaan.

- 3) Transaktioiden volyymi vakaassa tilassa pohjautuu taas hyötyihin, joita saadaan bitcoinin käytöstä muiden valuuttojen sijaan.
- 4) Uskomukset bitcoinin laadusta muuttuvat ajan myötä, jotka johtavat bitcoinin suurempaan käyttöönottoon mahdollisten käyttäjien keskuudessa.
- 5) Bitcoinin käyttöönottoon vaikuttaa riskiaversiivisuus. Se hidastaa aluksi bitcoinin adoptiota.
- 6) Oppiminen ja uskomukset vaikuttavat adoption ja hinnan kehitykseen.
- 7) Investoijien mukaantulo saattaa nostaa bitcoinin keskimääräistä hintaa ja vähentää niiden tarjontaa käyttäjille.
- 8) Vaihtokurssi kasvaa aluksi ilman sijoittajia suhteellisesti kohti täyttä käyttöönottoa, kunnes sijoittajien mukaantulo muuttaa vaihtokurssin kasvun vähitellen kasvavaksi, koska vakaa tila saavutetaan.
- 9) Bitcoinin markkina sopeutuisi siihen, jos suurten poisostojen tai valuutan katoamisen takia suuria määriä bitcoinia poistuisi markkinasta.

4 Bitcoinin vaihtokurssin aggregaattianalyysi

Tässä työn osassa otetaan artikkelin osio tarkasteluun, jossa keskitytään aggregaattianalyysiin. Tämän osion tavoitteena esittää todisteita bitcoinin vaihtokurssin, transaktiovolyymien ja rajoitetun tarjonnan samansuuntaisesta liikkeestä.

4.1 Hinnoittelumalli

Teoreettisten tulosten pohjalta on tultu päätelmään, että bitcoinin transaktiokäyttö heijastelee bitcoinin vaihtokurssia. Valuutan kiertonopeuden kaavasta voidaan johtaa kiertonopeus bitcoinin tapaukselle. Artikkelin käytti bitcoinille sopivaa, käytännössä vähän erilaista kuin yleisessä talousteorian kuvattua rahan kiertonopeuden kaavaa. Se on muutettu bitcoinille sopivaksi. Ratkaisemalla vaihtokurssi yhtälöstä, saadaan:

*Vaihtokurssi=transaktiovolyymi/kiertonopeus*bitcoinin tarjonta.*

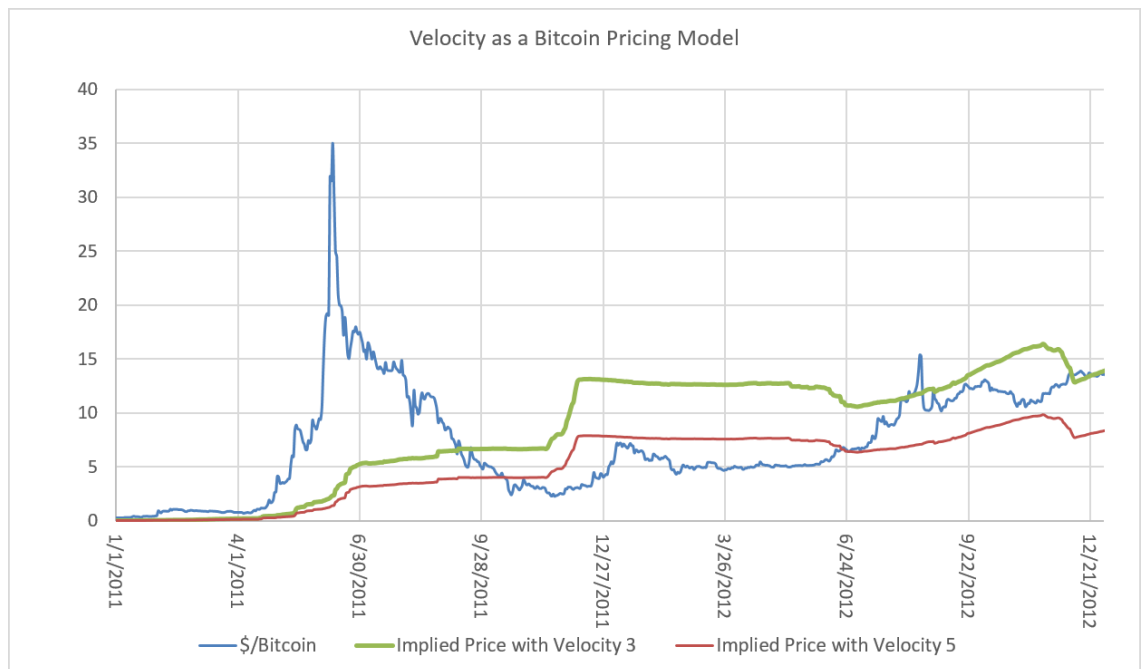
Tämän kaavan perusteella pääsemme tulokseen, että vaihtokurssi muodostuu staattisen ja rajoitetun tarjonnan takia transaktiovolyymien ja kiertonopeuden suhteesta.

Digitaalisen valuutalla on erilaisia voimia kuin Fiat-valuutoilla, mitkä vaikuttavat saatuun suhteeseen. Jos mahdollisia transaktiokohteita ei löydy niin paljoa, kuten bitcoinin tapauksessa, se saattaa hidastaa kiertonopeutta. Uusien kohteiden synty voisi kasvattaa transaktiovolyymia ja kiertonopeutta yhdessä. Jos taas transaktiovolyymien kasvu tulee uusista bitcoinin käyttäjistä, ei kiertonopeus välttämättä kasva yhtä nopeasti. Kiertonopeuteen vaikuttavat myös käyttäjien määrä, jotka vain pitävät bitcoineja eivätkä niinkään käytä sitä transaktioihin, kuin myös kadonneet bitcoinit, bitcoinin kaupallinen käyttö ja mahdollinen applikaatioiden käyttö bitcoineilla.

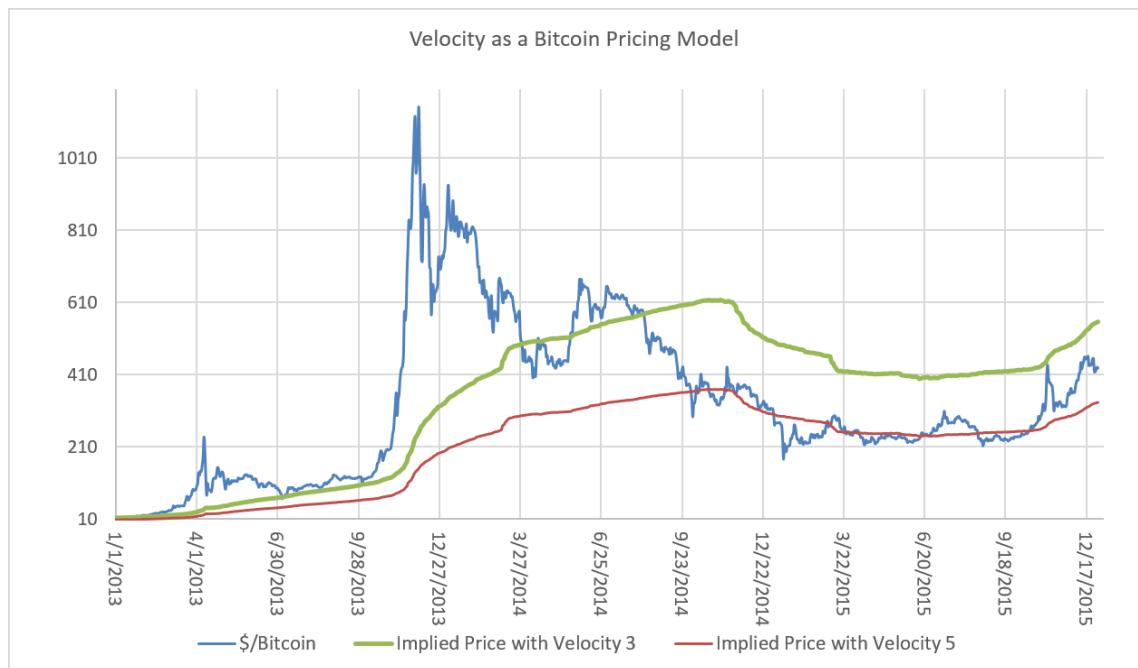
4.2 Hinnoittelumallin testaus empiirisesti

Artikkeli näyttää, kuinka transaktiovolyymi heijastelee bitcoinin markkina-arvoa log-lineaarisella kuvaajalla kuvattuna aikana 2012-2015. Myös heidän kiertonopeuksiansa markkina-arvoon mittaava kuvaajansa näyttää, että muutamaa hintapiikkiä lukuun ottamatta kiertonopeus on liikkunut vuodesta 2012-2015 suhteellisen staattisesti. Tämä kiertonopeuden analyysi on kuitenkin ehkä tuloksiltaan epävarma ja he sanovat, ettei sitä ole välttämättä pystytty mittaamaan yhtä tarkasti kuin BKT:tä.

Bitcoinin hintaa on lähetty mallintamaan alla olevilla kuvaajilla hinnoittelumallin avulla (hinnoittelumalli esiteltiin kohdassa 3.1), jos kiertonopeus pysyisi vakiona. Kuvaajista näemme kiertonopeuden bitcoinin hinnoittelumallissa vuoden 2011 alusta vuoden 2015 loppuun. Kuvaajat on esitetty log-lineaarisesti. Sinisellä näemme bitcoinin toteutuneen hinnan yhtä bitcoinia kohden ja vihreä viiva on staattinen kiertonopeus arvolla kolme, punainen arvolla viisi.



Kuva 3: Kiertonopeus bitcoinin hinnoittelumallina. Lähde: (Athey ym. 2016)



Kuva 4: Kiertonopeus bitcoinin hinnoittelumallina. Lähde: (Athey ym. 2016)

Kuvaajista näemme, että muutamaa hintapiikkiä lukuun ottamatta, bitcoinin mallinnettu hinta staattisella kiertonopeudella 3 tai 5 heijastelee sängen hyvin todellista hintakehitystä.

Tilastollista analyysiä tästä lähdetään tutkimaan yhteensopivuusmallin avulla. Malliin täytyi muutama oletus, jotta regressioanalyysi olisi tehokkaampaa. Esimerkiksi sitä yritetään välttää, että vaihtokurssit korreloisivat liikaa ajassa keskenään. Eri oletuksilla mallia analysoiden päästiin kahteen eri tulokseen. Kun ajassa korrelointia pyrittiin välttämään luomalla 30 päivän päähän ennustus hinnasta, päästiin selityssasteeseen $R^2 = 0.83$. Taas kun hinnat muutettiin mallissa lisäksi viikoittaisiksi keskiarvoiksi, päästiin todella merkittävään tulokseen, nimittäin selityssasteeseen $R^2 = 0.97$. Tämän jälkimmäisen mallin RSS eli jäännöstermien neliösumma on 3,5 kertaa korkeampi, kuin jos laskettaisiin ilman muutosta viikoittaisiksi keskiarvoiksi päiväarvoista.

5 Mikrodata-analyysiä bitcoinin julkisesta tietokannasta

Lähestyn tätä osiota työstäni lähinnä tulosten analysoinnin kautta enkä paneudu selittämään, kuinka tutkimuksessa on päästy näihin tuloksiin. Koen, että tämä oli tärkeämpää työn kolmannessa ja neljännessä osassa, kuin tässä viidennessä oman työni lopputuloksen kannalta.

Vaikkakin bitcoinin tietokanta on avoin ja julkinen, ei sieltä ole helppoa löytää kaikkea haluamaansa. Pääartikkelissani on tutkittu bitcoinin tietokantoja ja siitä tehtyjä tutkimuksia, mutta heidän mukaansa näillä päästään monesti vain korkeintaan heuristisiin löydöksiin.

5.1 Kokonaisuuksien havaitseminen ja analyysi

Kappaleessa on lähestytty eri tapojen kautta jäljittämään osoitteita bitcoinin käyttäjiltä.

Tärkeä löytö oli, että yksittäisiltä käyttäjiltä löytyi keskimäärin 2.4 osoitetta, mediaanina 1 osoite. Monet bitcoinin käyttäjät käyttävät bitcoinia vain yhteen transaktioon, eli alun perin bitcoinien vastaanottamiseen. Tämä perusteella ei yllätä, että käyttäjistä löytyy niin monta 1 osoitteen käyttäjää (noin 75 prosenttia). Suurin osa transaktioista tulee tutkimuksen mukaan pienistä transaktioista. Toiseksi suurin osuus tulee suurten tuntemattomien omaisuuserien siirroista.

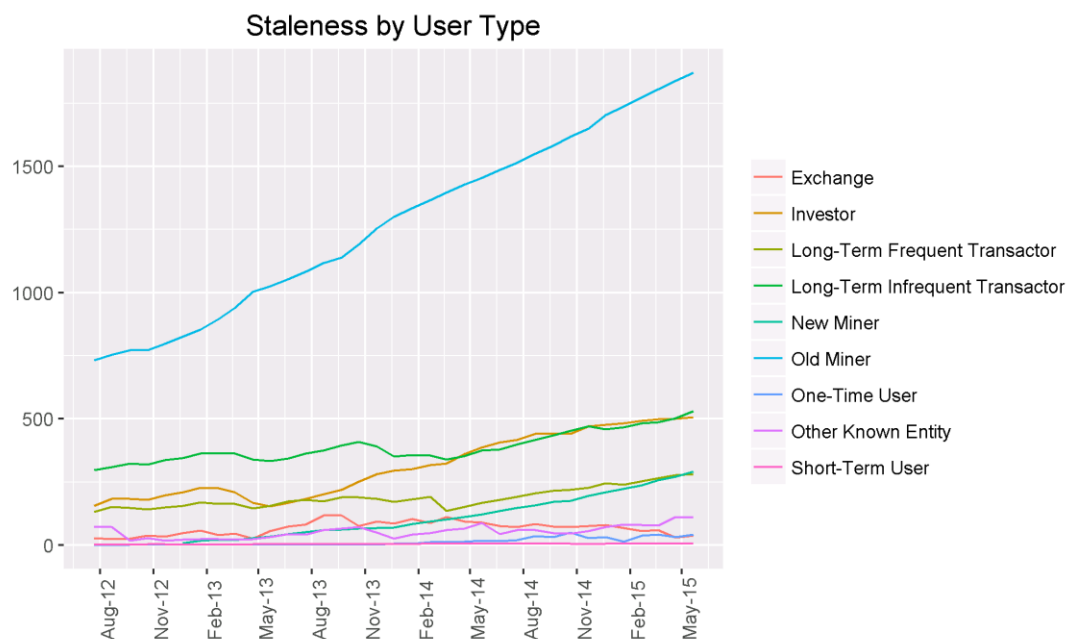
5.2 Adoptio ja käyttö empiirisesti havaittuna

Tässä osassa tutkitaan erilaisten käyttäjien bitcoinin käyttöönottoa ja käyttötapoja. Tämä vaikuttaa transaktiomäärien kehitykseen, joka vaikuttaa myös hintoihin ja kiertonopeuteen (jotka taas vaikuttavat bitcoinin käyttöön).

Tärkeä löytö on, ettei lyhyt -eikä pitkäaikaisten säännöllisten käyttäjien määrä ole kasvanut käyttäjien joukossa. Tämä implikoi mahdollista kiertonopeuden laskua.

Huomioitavaa on myös, että pitkäaikaiset epäsäännölliset käyttäjät ja sijoittavat pitävät suurinta osaa bitcoineja hallussaan.

Tutkimus käyttää ”staleness”-ilmaisua siitä, kuinka kauan joku on pitänyt bitcoineja lompakossaan. Tämä staleness on kasvanut ajan myötä tasaisesti kaikkien bitcoinin käyttäjien keskuudessa ja se johtuu varmaan erityisesti siitä, että kauan sitten louhittuja bitcoineja ei olla käytetty louhimisen jälkeen. Alla olevasta kuvaajasta näemme tämän bitcoinien staattisen hallussapitoajan käyttäjiinsä jaoteltuna.



Kuva 5: Erilaisten käyttäjien ”staleness”. Lähde: (Athey ym. 2016)

5.3 Taloudellinen suoja ja laitton toiminta

Jokainen transaktio jättää jäljen bitcoinin kirjanpitoon eli tietokantaan. Bitcoinia voi kuitenkin käyttää anonyymisti, koska se ei linkitä käyttäjän henkilöllisyyttä transaktioihin. Käyttäjille on tarjolla erilaisia lisäsovelluksia, jotka piilottavat käyttäjän osoitteen sekoittamalla sen muiden käyttäjien kanssa. Näin osoitteen jäljittämisestä tulee lähes mahdotonta. Laittoman toiminnan harjoittajien keskuudessa sekoittamisapplikaatioiden käyttö on huomattavasti yleisempää.

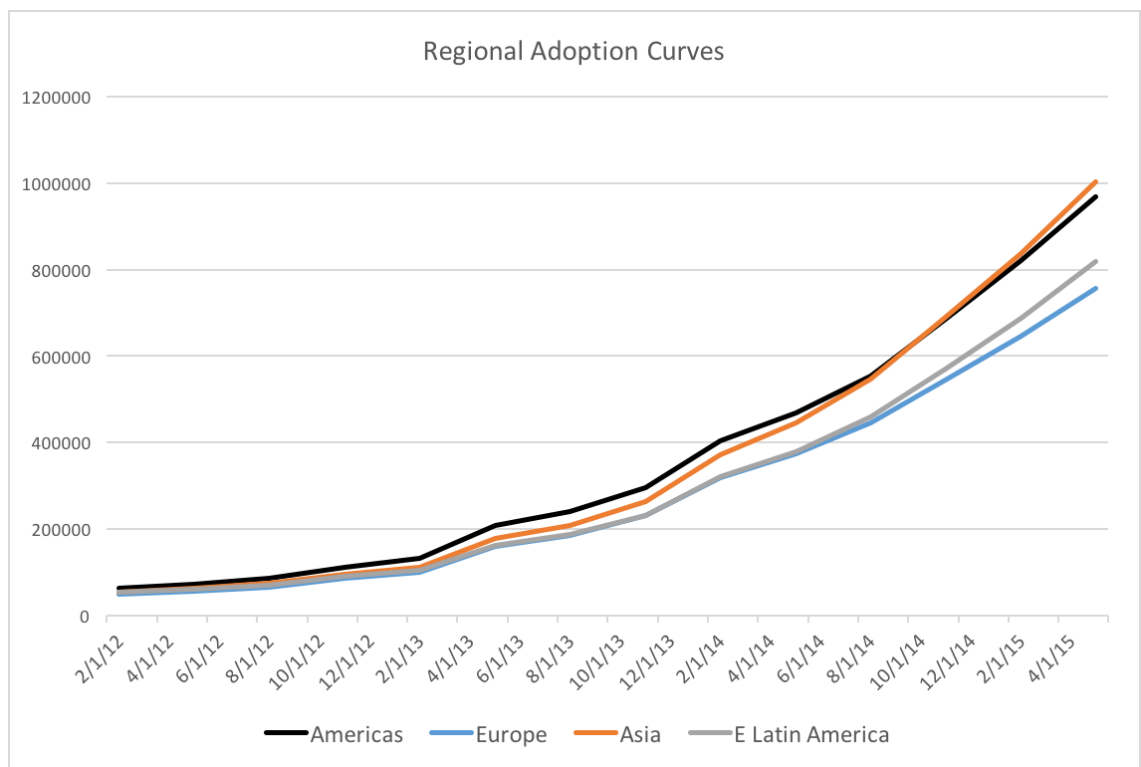
5.4 Transaktioverkosto ja alueellinen luokitus

Kokonaisuuksien havaitsemis- kappaleesta pystyy tehdä päätelmän, että bitcoinien käyttäjäverkosto on todella harvassa yhteydessä keskenään. Tämä tulee bitcoinin matalasta käyttöasteesta. Tutkimus myös havainnollistaa, etteivät käyttäjät ole kovin klusteroituneita bitcoinin käytössä.

5.5 Alueelliset erot käyttäytymisessä ja alueiden väliset transaktiot

Löytyy monia syitä, mistä voimme päätellä bitcoinin käytön olevan jakautunut alueellisesti eri alueille. Bitcoin varmasti leviää sosiaalisissa verkostoissa tehokkaammin tietyn alueen sisällä ja joillakin alueilla ollaan kiinnostuneempia uusista teknologioista. Myös jos bitcoinin vaihtaminen Fiat-rahaksi on helppoa eri instituutioiden kautta, helpottaa se kryptovaluutan adoptiota kyseisellä alueella.

Alla oleva kuvio esittää bitcoinin käyttäjien maantieteellistä jakautumista adoptiossa eli kryptovaluutan käyttöönotossa.



Kuva 6: Bitcoinin alueellinen käyttöönotto. Lähde: (Athey ym. 2016)

Alueet on jaettu karkeasti yllä olevan taulukon mukaisesti ja siten näiden valossa pystytään tutkimaan kansainvälisiä transaktioita. Itäinen Latinalainen Amerikka (Chile, Argentiina, Paraguay, Uruguay, Brasilia ja Venezuela) teki suhteellisesti paljon enemmän transaktioita muiden alueiden kanssa kuin muut, erityisesti Euroopan ja Aasian kanssa.

Alueellisia eroja transaktioiden käyttötarkoituksessa oli suhteellisen vähän. Suurin transaktioerä oli vaihdanta ja tuntemattomat transaktiot. Alueellisista eroista Aasiassa bitcoineja käytettiin uhkapelaamiseen vähemmän kuin muilla alueilla. Aasiassa ja itäisessä Latinalaisessa Amerikassa tehtiin vähemmän transaktioita liittyen kauppatoimintaan.

6 Yhteenveto ja päätelmät

Tutkielmassani tavoitteenani oli tutkia, mistä bitcoinin arvo muodostuu. Olen alussa määritellyt ja selittänyt mitä tarkoitan käsitteillä lohkoketjut ja bitcoin. Tämän jälkeen siirryin pääartikkeliini: "Bitcoin Pricing, Adoption, and Usage: Theory and Evidence" ja analysoin koko lopputyön tämän tutkimuksen kontribuutiota aiheeseeni liittyen.

Artikkelissa luotiin teoreettinen malli analysoiden bitcoinin käyttöönottoa ja hinnoittelua ja sitten tutkittiin näitä rakenteita empiirisesti. Teorian mukaan bitcoinin hinta voidaan määrittää markkinavoimien kontribuutiona ja tutkimuksen aggregaattianalyysi empirialla tukee tätä väitettä. Yksittäisten transaktioiden mikrodatta-analyysi paljastaa, että monet käyttäjät eivät ole aktiivisia ja monet vain säilyttävät kryptovaluuttaa. Tämä aktiivisten käyttäjien määrän hidas kasvu aiheuttaa esimerkiksi kiertonopeuden laskua. Osa omistajista käyttää bitcoinia salatakseen laittomia transaktioita. Käyttö ja adoption ovat myös sangen lokalisoituneita, ottaen huomioon, että bitcoin on täysin virtuaalinen valuutta ilman hallitusten vaikutusta levinneisyyteen.

Koko artikkeli toi monia hyviä tuloksia aihealueen kirjallisuuteen. Tämä tuo varmasti selvennystä luodulla mallilla arvon ja hinnoittelun ymmärrykseen bitcoinin ja varmasti myös muiden kryptovaluuttojen tapauksessa. Teoreettinen malli nostaa esiin adoption kitkat, joita esimerkiksi teknologian mahdollinen hajoaminen on tai se fakta, että teknologian kehitykseen vaikuttavaa myös muiden toimijoiden adoptio kyseisestä teknologiasta. Nämä vaikuttavat monen uuden teknologian tapauksessa ja niitä voi soveltaa moneen eri aihealueeseen. Ja kuten artikkelissakin mainittiin, mielenkiintoista olisi nähdä tutkimusta mahdollisista verkostovaikutuksista, joita bitcoinin adoptio mahdollisesti saa aikaan.

Lähteet:

Antonopoulos, A. (2014). Mastering Bitcoin; Unlocking digital cryptocurrencies.

Athey, S. Parashkevov, I. Sarukkai, V & Xia, J. (2016). Bitcoin Pricing, Adoption, and Usage: Theory and Evidence.

Biais, B. Bisière, C. Bouvard, M & Casamatta, C. (2018). “The blockchain folk theorem”.

Blockchain.info. Estimated transaction volume. Web. URL:

<https://blockchain.info/charts/estimated-transaction-volume>.

Ciaian, P. Rajcaniova, M. & d’Artis Kancs. The economics of bitcoin price formation. Applied Economics, sivut 1–17, 2015

Craggs, B. & Rashid, A. (2018) Misplacing Trust in Bitcoin Information Sources.

Huberman, G. Leshno, J & Moallemi, C. (2017) Monopoly without a monopolist: An Economic analysis of the bitcoin payment system.

Kristofer, L. (2015). What are the main drivers of the bitcoin price? Evidence from wavelet coherence analysis.

Mattila, J. (2016). “The Blockchain Phenomenon – The Disruptive Potential of Distributed Consensus Architectures”. ETLA Working Papers No 38.

Nakamoto, Satoshi (2008) Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.

Patel, D. Bothra, J & Patel, V. (2017) Blockchain exhumed. 2017 ISEA Asia Security and Privacy (ISEASP)